

VANET 中基于时空的动态优先级调度策略

安利^{1,2}, 叶雪梅², 范青刚²

(1. 空军工程大学理学院, 陕西西安 710051; 2. 第二炮兵工程大学理学院 陕西西安 710025)

摘要 在车载自组网中,道路安全相关应用地位日益突出。根据安全消息的紧迫程度对其优先级进行划分。提出了基于时空的动态优先级调度策略,通过建立时空相关函数表示不同优先级大小,优先级随着消息分发的时间和距离的增长而减小。同时,将紧急报警消息的传输限制在一定的时空域。通过仿真实验,结果证明基于时空的动态优先级调度策略可有效地提升网络性能;与采用固定优先级最大延迟门限的方法相比,当节点密度高时该算法可以很好地减少网络负载;当节点密度低时可以更好地扩大传输范围。

关键词 车载自组网;安全消息;动态优先级;调度

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.02.016

中图分类号 TP399 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2013)02-0071-05

A Spatiotemporal-Based Dynamic Priority Scheduling Scheme in VANET

AN Li^{1,2}, YE Xue-mei¹, FAN Qing-gang²

(1. Science College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Science College, the Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract: Safety application is very important in vehicular ad-hoc networks. Safety-related message priority is classed based on message urgency. In this paper, a spatiotemporal-based dynamic priority scheduling scheme is proposed. A spatial-temporal relevance function is introduced to represent the priority, which decreases as distance and duration increase in the message dissemination. Meanwhile, the distribution of a urgency message is limited to a bound duration and spatial area. Analyses and simulations show that the spatiotemporal-based dynamic priority scheduling is of a significant performance improvement in decreasing the network load in high density and increasing the transmission distance in the low density over the method using the fixed priority with the maximum delay threshold.

Key words: vehicular Ad hoc network; safety message; dynamic priority; scheduling

车载自组网(Vehicular Ad-hoc Net Work, VANET)是移动自组网的一种特殊应用^[1]。在VANET中车辆通过车载无线通信装置进行通信^[2],组成分布式网络,并通过安全消息的交互,搜集周围车辆状态信息,可快速检测潜在危险情况,减少车辆事故的发生。不同安全应用的紧急程度不一样,其安

全消息也对应不同优先级^[3],对通信系统在延迟和可靠性方面有特定的要求。尽管在短程通信频段(Dedicated Short Range Communication, DSRC)中采用单独的控制信道传输安全消息^[4],也存在安全消息之间对信道的竞争。这样需要确保当紧急情况发生时,紧急报警消息能够得到更高的优先级。

收稿日期:2012-02-15

基金项目:航空科学基金资助项目(20095596014);陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8001-4)

作者简介:安利(1974-)女,陕西蒲城人,讲师,博士生,主要从事计算机网络研究。

E-mail:56337922@qq.com

1 基于时空的动态优先级策略

信道中大量紧迫程度低的安全消息会造成紧急报警消息等较高优先级传输的阻塞或者丢失,从而推迟紧急报警消息的传输^[5]。目前关于安全消息传输方面的研究主要存在以下问题:①在探讨安全消息传输的过程中没有考虑安全消息优先级的区别;②针对安全消息的传输采用了固定优先级策略,忽略了消息的紧迫程度随距离和持续时间的增长而改变;③对于安全消息的传输限制大多采用延迟受限策略,即简单地丢掉超过最大延迟限度的数据包,无法适应车辆动态变化的环境。

为解决上述问题,保证 VANET 中安全消息的快速、有效传输,本文提出了基于时空的动态优先级策略,对安全消息建立时空相关函数,以区别不同优先级,同时将紧急消息的分发限制在受限的有界持续时间和空间范围。

1.1 优先级时空相关函数

安全消息一般是时间相关、空间相关或者时空相关的^[6-8]。时间相关消息的紧迫程度随时间的延长而减小;空间相关消息的紧迫程度随传输距离的增长而减小;时空相关消息的紧迫程度随时间和距离的增长同时减小。紧急消息则不仅是延迟敏感的,而且是空间敏感的,即时空相关^[9],其优先级由消息在网络中的紧迫程度所决定。当同时有多个紧急消息需要接收时,根据优先确保道路安全的应用原则,选择最紧急的消息来接收。因此在紧急消息传输过程中,应对其划分优先级,且优先级级别能够根据传输情况进行自适应调整。如式(1)所示,对紧急消息建立时空相关函数 f 来计算紧急消息的优先级级别,以区分不同的优先级特性,同时反映优先级在整个传输过程中的变化情况:

$$f = \alpha f_1(\Delta t) + \beta f_2(d) + \varphi, \alpha \leq 0, \beta \leq 0 \quad (1)$$

式中: Δt 为从消息的产生到接收车辆接收消息的时间间隔; d 为消息产生地点到接收车辆位置之间的距离。 $f_1(\Delta t)$ 、 $f_2(d)$ 分别是 Δt 和 d 的增函数。函数中的 α 和 β 是非正常量,分别代表传输时间和距离对优先级衰减因子。 α/β 的比值越大,说明时间对优先级的影响比距离大,即优先级对时间的敏感性更高;反之 α/β 的比值越小,则距离比时间的影响大,即优先级对距离的敏感性更高。 φ 代表消息的初始优先级,由事件本身的特性所决定。不同的紧急消息对于时间和距离有着不同的敏感性,由 $f_1(\Delta t)$ 和 $f_2(d)$ 来决定,例如 $f_1(\Delta t) = \Delta t^2, 2\Delta t + 1, \dots$ $f_2(d) = \sqrt{d}, d \dots$ 。本文中设定 $f_1(\Delta t) = \Delta t$,

$$f_2(d) = d.$$

$$\Delta t = t_r - t_s \quad (2)$$

$$d = \sqrt{(x_r - x_s)^2 + (y_r - y_s)^2} \quad (3)$$

从前面对紧急消息的定义,可知它的数据帧包含紧急事件发生的位置、时间等重要信息。其中公式(1)、(2)、(3)中参数的具体意义解释如下: (x_r, y_r) 为接收消息车辆的位置坐标; t_s 为事件发生的时间; t_r 为消息的接收时间。

1.2 时空传输界限

每种安全应用的紧急消息都有其固有影响范围,对影响范围内的车辆来说该消息非常重要,及时接收到该消息可以有效避免事故发生。但需要注意的是,紧急消息并不是在有效时间内传输的范围越广越好,如果紧急消息的传输超出事件实际作用范围,这对有限的带宽资源来说,将是一种浪费。另外,每类紧急消息有其传输时延界限,即消息实际有效作用时间。对安全消息不考虑传输范围,只采用时延受限的方法不能适应 VANET 高度动态化的通信环境。下面对在动态的环境中某一紧急消息的第 i 跳传输情况进行具体分析,其总的时延为:

$$t_i = t_{\text{hop}}(i) + t_{\text{waiting}}(i) \quad (4)$$

$t_{\text{hop}}(i)$ 包含传输时延和队列等待时延, $t_{\text{waiting}}(i)$ 是寻找下一跳的等待时延。当节点密度越高时, $t_{\text{waiting}}(i)$ 越小,几乎可以被忽略。但当交通密度很低时, $t_{\text{waiting}}(i)$ 会比较大,中继节点将浪费太多的时间在寻找下一跳上。因此如果时延界限设置太低,当节点密度低时,消息不能进行有效传输,车辆很难在其时延门限内找到下一跳节点。然而如果时延界限设置太高,将超出事件实际影响范围,这对超出紧急事件实际影响范围的车辆来说是没有意义的,也浪费了有限的带宽资源;当交通密度很低时,中继节点需要等待很长时间来寻找下一跳, $t_{\text{waiting}}(i)$ 比较大,这样很难进行有效传输。

为解决上述问题,将紧急消息分发限制在有界的时间范围门限 Δt_{th} 和空间范围门限 d_{th} 内。由于 Δt 和 d 通常一起发生变化,因此在计算优先级时需要综合考虑时空门限 Δt_{th} 和 d_{th} 。建立紧急消息初始优先级 φ 的组成:

$$\varphi = -\alpha \Delta t_{\text{th}} - \beta d_{\text{th}} \quad (5)$$

当优先级函数满足 $f \leq 0$ 时,消息将不会被再次传输:

将式(5)代入式(1)可以得到:

$$f = \alpha \Delta t + \beta d - \alpha \Delta t_{\text{th}} - \beta d_{\text{th}} \quad (6)$$

令 $f = 0$:

$$\Delta t_{\text{max}} = \Delta t_{\text{th}} + \frac{\beta}{\alpha} (d_{\text{th}} - d) \quad (7)$$

$$d_{\max} = d_{\text{th}} + \frac{\alpha}{\beta} (\Delta t_{\text{th}} - \Delta t) \quad (8)$$

在低交通密度情况下,车辆将花更多的时间在 $t_{\text{waiting}}(i)$ 中,因为它很难找到它的通信范围内的下一跳节点。消息传输不能超过有效的影响范围 d_{th} ,也就是说实际传输距离 $d < d_{\text{th}}$ 。将其代入式(7)可以得到:

$$\Delta t_{\max} \geq \Delta t_{\text{th}} \quad (9)$$

从式(9)中可以看到该策略中的最大时延比仅采用时延受限方式下的要大。因此在车辆密度较低情况下,可以为节点提供更多的机会来传输。

在车辆密度较高的情况下, $t_{\text{waiting}}(i)$ 可能会十分小,从而被忽略。紧急消息会在延迟门限内传输到尽可能远的距离。考虑最坏的情况, $\Delta t = 0$, 将其代入公式(8),可得最大传输距离:

$$d_{\max}(\Delta t = 0) = d_{\text{th}} + \frac{\alpha}{\beta} \Delta t_{\text{th}} \quad (10)$$

从式(10)中可以看到,最大传输距离 d_{\max} 比理想的门限值 d_{th} 大 $\alpha/\beta \Delta t_{\text{th}}$ 。即最大误差为 $\alpha/\beta \Delta t_{\text{th}}$,这可以通过设定 α/β 的值来进行控制。

对于该策略如果只采用时延受限,则紧急消息的大小通常很小。有的文献中 t 以 ms 来作为计量单位,但是 Δt_{th} 通常以秒设定来适应在低密度下的情况。因此, d_{\max} 将远远超出 d_{th} ,这对带宽资源来说是一种浪费。

1.3 动态优先级调度策略

根据优先级时空相关函数及时空传输界限相关研究,本文提出了动态优先级调度策略。该策略中,整个调度过程主要包含2个方面:①判断消息是否有效;②计算优先级,在队列中排队并接收。

在上一节中指出如果一个消息的传输超过了事件的实际影响范围,那么它是没有用的,且会浪费带宽。因此将紧急消息的分发限定在有界的时间范围 Δt_{th} 和空间范围 d_{th} 。如果消息的优先级函数满足不等式(6),则说明这个消息是无效的,并且将拒绝接收、被丢掉。如果不满足,则按优先级在队列中排队,等待接收。

假设有 N 个紧急消息 $\{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 等待传输,且每个消息的属性为 $m_n = \{\alpha_n, \beta_n, \phi_n, x_{s(n)}, y_{s(n)}, t_{s(n)}\}$,接收车辆的属性为 (x_r, y_r, t_r) 。接收方分别计算它们的优先级,以降序的方式建立优先级队列,首先选择对它自己来说最紧急的消息接收:

$$\max f_n = \alpha_n (t_r - t_{s(n)}) + \beta_n \sqrt{(x_r - x_{s(n)})^2 + (y_r - y_{s(n)})^2} + \phi_n, (n = 1, 2, \dots, N) \quad (11)$$

整个调度过程在 Algorithm 1 中进行详细描述:

述:

Algorithm 1: Dynamic Scheduling with A Spatiotemporal-Based Priority

```

1  $\forall mn \in \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 
2 for ( $n=1$  to  $N$ )
3  $f_n = \alpha_n (t_r - t_{s(n)}) + \beta_n$ 
 $\sqrt{(x_r - x_{s(n)})^2 + (y_r - y_{s(n)})^2} + \phi_n$ 
4 end
5 if ( $f_n \leq 0$ )
6 reject the message  $n$ 
7 else
8 make a queue of  $f_n$  in descending order
9 end
10 receive messages in queue
```

本节提出基于时空的动态优先级调度策略。安全消息的紧急程度随传输时间和距离的变化而改变,根据上述优先级计算时空相关函数,提出基于动态优先级的调度策略。该策略综合考虑时空影响,进行调度、存储、转发,满足对实际安全应用的需要。

2 仿真验证

2.1 仿真场景

以表1中3类常用紧急消息为例,考虑安全应用场景下的紧急消息传输情况。

表1 VANET 安全应用场景及参数设置

Tab. 1 Security application scenarios and parameter setting of VANET

| VANET 安全应用 | $d_{\text{threshold}}/\text{km}$ | t_{\max}/s | α | β | ϕ |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|----------|---------|--------|
| Braking Warning | 0.3 | 3 | -150 | -2.5 | 1 200 |
| Traffic Violation | 1 | 6 | -60 | -0.6 | 960 |
| Traffic Accident | 4 | 12 | -10 | -0.1 | 420 |

车辆节点在 $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ 的区域内产生,并在该范围内移动。交通密度为 ρ ,每个车辆 i 的传输范围为 100 m,传输速率 2 Mb/s,并且每个消息的长度大小为 10 kB。对每个车辆 i ,随机选取该区域内的2个点,指定一个点作为起始点,另一个点作为终点。车辆 i 的移动方向为从起始点到终止点。车辆 i 沿着该路径,以随机速度 v 移动,车速服从均值为 50 m/s 的正态分布。紧急消息在车辆开始移动时产生,并被车辆 i 所携带。当紧急消息的有效生命周期结束时,不再产生新的消息。每个消息的分类从前面提到的3类紧急消息中随机选取。当任意2辆车之间的距离小于它们的传输范围时,他们开始进行消息传输。对车辆 i 来说,当同时需要接收多个紧急消息时,将采取上一节中的调度策略步骤

来执行。

2.2 仿真结果及分析

本节对提出的调度策略性能进行分析评估。在该策略中,紧急消息的优先级随距离或者时间的增加而减小。也就是说,随着传输距离和时间的持续增大,消息的紧迫程度将严重衰减。因此考虑是否会造成延迟时间过长,而影响紧急消息的传输。在此,以第1类和第3类消息为传输消息主体,将采取动态优先级和固定优先级的2种策略分别进行对比,建立传输时延与交通密度的关系,具体仿真结果见图1。

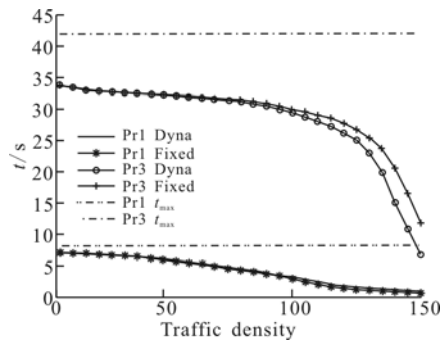


图1 动态优先级与固定优先级策略传输时延对比

Fig. 1 Compare of transmission delay between dynamic priority strategy and fixed priority strategy

从图1中曲线的整体趋势可以看出,传输总时延随着交通密度的增大而减小,这是因为当车辆密度增大时,网络中的节点数目也增多,传输时更容易找到下一跳节点,减少了传输时延。首先对比车辆密度较低的情况下不同传输策略的时延。从图中可以看出2种方法下紧急消息的总传输延迟时间几乎相等,这说明在该环境下动态优先级策略对传输时间的影响不大。当车辆密度较高时,对于第1类紧急消息来说,动态优先级(Dynamic Priority)的时延比固定优先级(Fixed Priority)的要稍微大一些。对于第3类消息来说,仿真结果则是相反的,即固定优先级的传输时延比动态优先级的要大。然而在两种策略下,紧急消息传输的总延迟时间都比各自的最大时间界限 t_{max} 要少得多,这说明每类紧急消息有足够的时间来传输,因此对该传输策略影响较小。

利用动态优先级调度策略中采取的时空受限(Spatio-Temporal Limit, STL)策略,与时延受限(Delay Limit, DL)策略进行仿真对比,得到的仿真结果及分析如下:

从图2中可以看出,利用动态优先级调度策略中采取的时空受限Spatio-Temporal Limit (STL)机制与时延受限Delay Limit (DL)策略进行对比,网络负载随着交通密度的增长而变大,并且网络负载的增长速度越来越快。这由两方面原因造成:一

是随着交通密度的增加,在研究区域内产生了更多的网络节点,相应产生了更多的紧急消息;二是在节点密集的环境下,转发过程中十分容易发现下一跳,造成更多的消息复制。当交通密度较低时,时空受限策略下产生的网络负载比延迟受限下的要多,这样缓解了在该环境下由于节点稀疏对消息分发造成的影响。相反,当交通密度较高时,时空受限策略产生的网络负载比仅采用时延受限的方式明显要少;且负载减少的幅度随着交通密度的增大快速增加,满足了节点稠密环境下的网络负载控制要求。整个仿真反应了时空受限策略在低密度环境下可以进行更有效的传输;在高密度环境下,可以大大减少由于超出事件实际影响范围进行消息复制造成的过多网络负载。

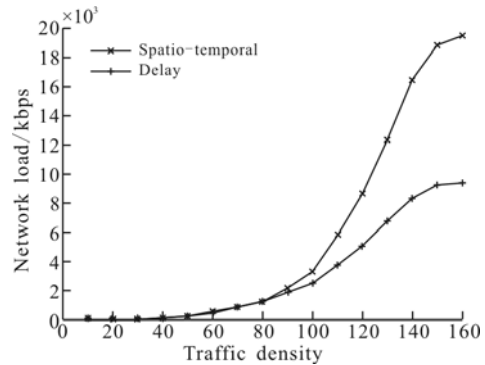


图2 时空受限与时延受限下的网络负载情况对比

Fig. 2 Compare of network load conditions under spatio-temporal limited and time delay limited situations

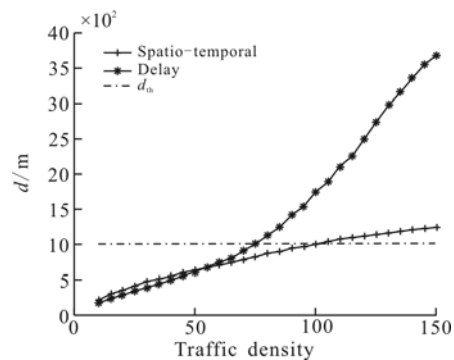


图3 时空受限与延迟受限下的消息传输范围对比

Fig. 3 Compare of message transmission ranges under spatio-temporal limited and time delay limited situations

从图3中可以看出2种策略下的平均传输距离都随着交通密度的增大而增加,这是由中继节点的增多造成的。当车辆密度较低时,STL的平均传输范围比DL情况下要高;当车辆密度较高时,STL的传输距离近似接近理想值 d_{th} ,然而对于时延受限的方法来说, d_{max} 大大超过了消息的距离门限 d_{th} 。超

出的范围随着密度的增加而急剧加大。这些消息对于事件实际影响范围内的车辆来说是没有意义的,浪费了有限的带宽资源。

仿真结果表明,基于时空的动态优先级调度策略可以有效地提升网络性能:与采用固定优先级和最大延迟门限的方法相比,该算法在高节点密度环境中可以有效地减少网络负载;在低节点密度的情况下可以很好地扩大传输范围。

3 结语

本文针对车辆安全消息紧迫程度的不同,提出了基于时空的动态优先级调度策略。该策略中,对紧急消息建立时空相关函数来反应消息的优先级级别,且该优先级随着消息传输的时间和距离的增大而减小,并将安全消息的分发限定在有界的时间域和空间域,以应用于不同的交通密度环境中。最后通过仿真分析验证,该调度策略可以明显的提升网络性能,比固定的优先级策略更适合紧急消息传输。同时可以有效提升网络性能,与只采用最大时延门限的方法相比,该策略在节点密度大的情况下可以有效减小网络负载;在节点密度低的情况下可以有效扩大传输距离。

参考文献(References):

- [1] Yousefi S, Mousavi M S, Fathy M. Vehicular ad hoc networks (VANETs): challenges and perspectives [C]// 2006 6th international conference on ITS telecommunications. [S. l.]:IEEE press, 2006:761-766.
- [2] Hannes Hartenstein, Kenneth P Laberteaus. VANET: vehicular applications and inter-networking technologies[M]. New York: Wiley, 2009.
- [3] Mehdi Khabazian, Sonia Aissa, Mustafa. Performance modeling of message dissemination in vehicular ad hoc networks with priority[J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2011, 29(1): 61-71.
- [4] Zang Y, Stibor L, Cheng X, et al. Congestion control in wireless networks for vehicular safety applications [C]//The 8th European wireless conference. Paris, France:[s. n.], 2007:1-7.
- [5] Ghassan Samara, Sureswaran Ramadas, Wafaa A, et al. Safety message power transmission control for vehicular ad hoc networks[J]. Journal of computer science, 2010, 6(10):1027-1032.
- [6] Vahid Sadatpour, Mahmood Fathy, Saleh Yousefi, et al. Scheduling algorithm for beacon safety message dissemination in vehicular ad-hoc networks [C]// FGIT 2009. Jeju Island, Korea: Springer Verlag, 2009: 133-140.
- [7] Marc Torrent-Moreno, Daniel Jiang, Hannes Hartenstein. Broadcast reception rates and effects of priority access in 802.11-based vehicular ad-hoc networks [C]//VANET 104. New York: ACM press, 2004:10-18.
- [8] Xu Bo, Ouksel A, Wolfson O. Opportunistic resource exchange in inter-vehicle ad-hoc networks [C]// 2004 IEEE international conference on mobile data management. [S. l.]:IEEE press, 2004:4-12.
- [9] Torrent-Moreno M, Mittag J, Santi P, et al. Vehicle-to-vehicle communication: fair transmit power control for safety-critical information[J]. IEEE trans vehicle tech, 2009, 58(7):3684-3703.

(编辑:徐楠楠)